

# 布の Handle 評価に関する研究 (第3報)

— 布の引抜抵抗と曲げ剛さとの関係についての解析 —

角 田 幸 雄 ・ 高 塚 芳 枝

(被服学研究室)

Studies on the Handling of Cloth (Part 3)

— Analysis on the Relation Between the Drag and the Flexural Rigidity of Cloth —

Yukio TSUNODA · Yosie TAKATSUKA

## 1. はじめに

布の曲げ剛さの測定法に関しては、小野木、安藤<sup>1)</sup>、大脇<sup>2)</sup>等の試料布の強制振動から求める振動リード法や Steele<sup>3)</sup>、篠原、山内<sup>4)</sup>等の試料布の圧縮変形から求める方法など多くの研究がある。これらの中で、篠原、山内による方法は、布をエラスティカ (Elastica) として取り扱うことによって、試料布の一定曲げ変形とそれに要する圧縮力との関係を解析し、その結果から圧縮力の測定のみによって曲げ剛さを求めるもので、測定の操作や計算が極めて簡便であるという点で特長があるといえる。

そこで、著者も前報<sup>5)</sup>の実験において、Slit による布の引抜抵抗値とその曲げ剛さとの間に高度な相関関係のあることを認めたので、これらの関係が曲げ剛さ測定の簡便法に应用できるかどうかについて検討してみたいと考え、本報では、この実験による大曲率変形の試料布をエラスティカとみなして、その布の曲げ剛さと引抜抵抗値との関係について解析し、この解析法の妥当性ならびに解析結果の曲げ剛さ測定法に対する適用性を2、3の試料布によって検討した。

## 2. 解 析

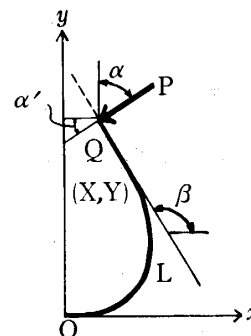
本解析は山内<sup>6)</sup>および篠原、山内が行なった解析方法とその結果にしたがって解いたものである。

解析のためのモデルは、第1図に示す引抜過程の試料形状から今回は試料と Slit Bar との接点における摩擦力を無視した単純な曲げ変形モデルを用い、第2図はエラスティカの対称性からそのモデルの右半分を示したも

のである。



(第1図) 引抜き試料の形状



(第2図) 解析のためのモデル

$P$ : エラスティカに働く力

$L$ : エラスティカの長さ

$(X, Y)$ :  $Q$ 点における座標

$\beta$ :  $Q$ 点における接線が  $x$  軸となす角

エラスティカ上の任意の点  $(x, y)$  におけるモーメントの釣合いから次の(1)式が与えられる。

$$G \frac{d\phi}{ds} = P \cos \alpha' (Y-y) + P \sin \alpha' (x-X) \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $G$ : 試料布の曲げ剛さ

$\phi$ : エラスティカ上の点  $(x, y)$  における接線が  $x$  軸となす角

$S$ : エラスティカの長さ ( $Q$ 点では  $S=L$ )

$$\frac{dx}{dS} = \cos \varphi, \quad \frac{dy}{dS} = \sin \varphi \dots\dots\dots (2)$$

(1)式を  $S$  について微分し, (2)式を代入し, さらに積分を行なうと,

$$\frac{1}{2} \left( \frac{d\varphi}{dS} \right)^2 = \frac{P}{G} \cos (\varphi - \alpha') + C \dots\dots\dots (3)$$

$$\left( \frac{d\varphi}{dS} \right)_{\varphi=\beta} = 0 \text{ から}$$

$$C = -\frac{P}{G} \cos (\beta - \alpha')$$

したがって(3)式は,

$$\left( \frac{d\varphi}{dS} \right)^2 = \frac{2P}{G} \{ \cos (\varphi - \alpha') - \cos (\beta - \alpha') \} \dots\dots (4)$$

$$\varphi - \alpha' = \theta, \quad \beta - \alpha' = \theta_0, \quad \frac{P}{G} = a^2 \text{ とおくと,}$$

$$\frac{d\theta}{dS} = \pm \sqrt{2} a \sqrt{\cos \theta - \cos \theta_0} \dots\dots\dots (5)$$

$$(5) \text{式より, } \sin^2 \Phi = \frac{1 - \cos \theta}{1 - \cos \theta_0} \text{ において,}$$

$\varphi=0$  より  $\varphi=\beta$  まで積分すれば, エラスティカの長さ  $L$  を示す次式が誘導される。

$$aL = F(k, \Phi) + F(k, \pi/2) \equiv I_1 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{ここに, } k = \sin \frac{\pi}{4}$$

$$\Phi = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \frac{\pi - 2\alpha}{4}}{\sin \frac{\pi}{4}} \right)$$

$F(k, \Phi)$ : 第1種楕円積分

$$F(k, \Phi) = \int_0^{\Phi} \frac{d\Phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \Phi}}$$

次に(2), (5)式より,

$$\sqrt{2} a dx = \pm \frac{\cos \theta \cos \alpha' - \sin \theta \sin \alpha'}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_0}} d\theta \dots\dots (7)$$

(7)式より,  $L$  と同様に計算すれば  $Q$  点の  $x$  座標を示す(8)式が誘導される。

$$\begin{aligned} aX = \cos (\pi/2 - \alpha) \left\{ 2 [E(k, \pi/2) + E(k, \Phi)] \right. \\ \left. - [F(k, \pi/2) + F(k, \Phi)] \right\} - 2k \sin (\pi/2 - \alpha) \\ \cos \Phi \equiv I_2 \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

ここに,  $E(k, \Phi)$ : 第2種楕円積分

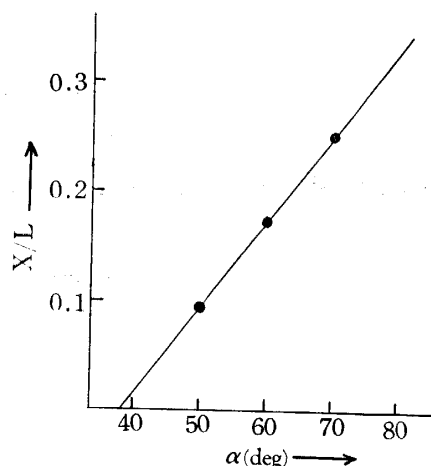
$$E(k, \Phi) = \int_0^{\Phi} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \Phi} d\Phi$$

(6), (8)式より,

$$\frac{X}{L} = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots (9)$$

(9)式は  $\alpha$  のみの関数であり, したがって  $\alpha$  の値を定めると  $X/L$  の値が求められる。

第3図は  $\alpha=50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$  として(9)式の右辺を計算した結果を示す。



(第3図)  $\alpha$  に対する  $X/L$  の値

$$(6) \text{式より, } a = \sqrt{P/G} = I_1/L$$

$$\therefore G = \left( \frac{L}{I_1} \right)^2 \times P \dots\dots\dots (10)$$

ここで, 実測される引抜抵抗値は  $2P \cos \alpha$  に相当することから, この値を  $P'$  で表わせば

$$G = \left[ \left( \frac{L}{I_1} \right)^2 / 2 \cos \alpha \right] \times P' \dots\dots\dots (11)$$

(11)式において,  $[ ]$  の値は  $L$  および  $X$  の値を定めると求められるから, したがって, 特定の  $L$  に対する  $P'$  の測定値および試料布の厚さを知って曲げ剛さ  $G$  を算出することができる。

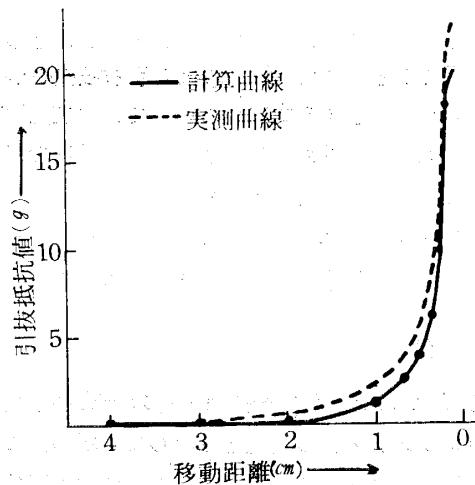
$G$  のデメンションは  $L, X$  を  $cm$ ,  $P'$  を  $g$  で測定すれば  $[g \cdot cm^2]$  となる。

### 3. 実験と考察

第4図は Slit 幅  $d=7t$  ( $t$ : 試料厚さ) においてアセテートタフタ (第1表) を用い, インストロン型引張試験機による実測引抜抵抗線図と(11)式からこの試料布に対応させ, 計算により描いた引抜抵抗線図とを示したものである。

この計算において,  $X$  は試料厚さの2.5倍をとって  $X=0.030cm$ , また  $G=15.0 \times 10^{-2} g \cdot cm^2$  とした。

両線図の間にはかなり類似の曲線関係をみることができ。このことは, ここに用いたモデルが本測定法の検討に一応適用できることを示しているといえる。



(4図) 実測および計算による引抜抵抗線図の比較

次に、第1表に示す3種のタフタ織物を試料布として、各試料布から(たて方向→) 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°の各方向について 2.5cm×25.0cmの試料片を採り、常法にしたがってハートループ法による曲げ剛さ(GH)を求め、また同じ試料片について、Slitによる引抜抵抗値 $P'$ (線図において、最大抵抗値の距離点より手前0.4cm点の抵抗値)をSlit幅 $d=7t$ で測定し、その平均値を(11)式において、 $L$ の値を0.5cm( $P'$ の最大値は $L=0$ 点より約0.1cm手前の距離点にあることを考慮)、 $X$ の値は $X=2.5t$ の近似値として、アセテートタフタに0.030cm、ナイロンタフタに0.035cm、テトロンタフタに0.025cmをとって計算して得た次の(12)式に入れて曲げ剛さ(GT)を算出し、曲げ剛さGH、GTの値を比較した結果を第2表に示す。

$$GT = a \times P' \dots \dots \dots (12)$$

ここに、 $a=0.030$  ( $X=0.030\text{cm}$  のとき)  
 $a=0.031$  ( $X=0.035\text{cm}$  のとき)  
 $a=0.029$  ( $X=0.025\text{cm}$  のとき)

(第1表) 試料布の性状

項目 試料布	糸密度(本/cm)		厚さ(cm)*	重さ(g/cm <sup>2</sup> )
	W	F		
アセテートタフタ	48	34	$12.21 \times 10^{-3}$	$8.84 \times 10^{-3}$
ナイロンタフタ	43	30	14.80	9.49
テトロンタフタ	44	39	9.05	7.03

\* 荷重150gでの測定値

(第2表) 試料布の曲げ剛さ (g・cm<sup>2</sup>)

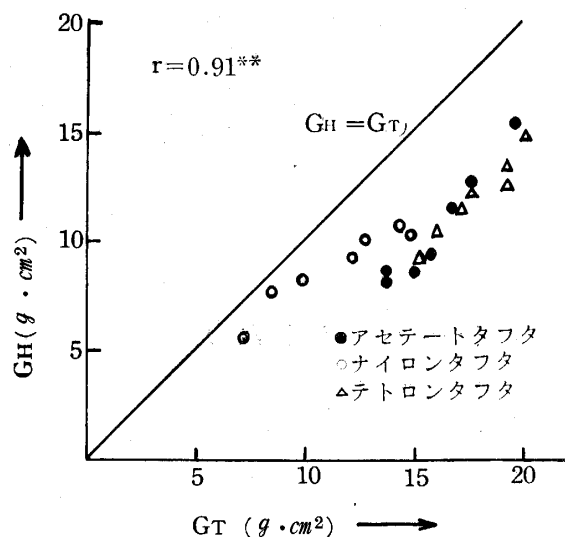
試料布 布方向	アセテートタフタ		ナイロンタフタ		テトロンタフタ	
	GH	GT	GH	GT	GH	GT
0 (deg)	$15.4 \times 10^{-2}$	$19.5 \times 10^{-2}$	$10.2 \times 10^{-2}$	$14.9 \times 10^{-2}$	$14.9 \times 10^{-2}$	$20.0 \times 10^{-2}$
15	9.4	15.9	10.6	14.3	12.7	19.1
30	8.7	15.0	8.1	9.9	11.6	17.1
45	8.2	13.8	5.5	7.1	9.1	15.1
60	8.6	13.8	7.6	8.4	10.5	16.0
75	11.6	16.8	9.2	12.1	12.3	17.7
90	12.7	17.7	10.0	12.7	13.5	19.1

第5図は第2表のGHとGTとの関係を散布図に示したものである。

曲げ剛さの本解析法による値(GT)とハートループ法による値(GH)との相関は $r=0.91$ で高度な相関関係が認められ、これらはかなり近似しているといえる。

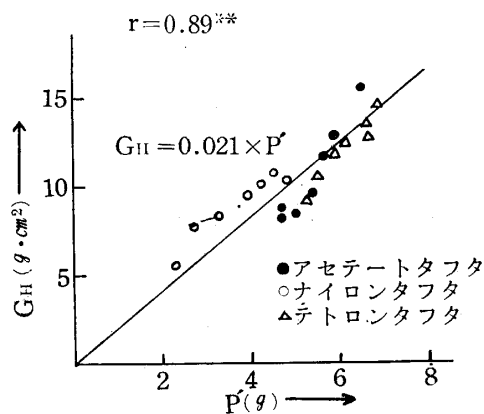
しかし、回帰傾向をみると $GH=GT$ の直線より若干GT側に傾いている。これは本解析において、試料とSlit Barとの摩擦抵抗力を無視していることも大きく基因しているものと考えられる。

なお、(12)式から試料布の厚さの差異が曲げ剛さ(GT)に与える影響は、本実験程度の試料布の差では比較的小さいことがわかる。



(5図) GTとGHの散布図

第6図は引抜抵抗値( $P'$ )と曲げ剛さ(GH)との関係の散布図を示したもので、 $P'$ とGHとの相関は $r=0.89$ と高く、また、これらの各点は $GH=0.021 \times P'$ の線上にほとんどのっている。



(第6図)  $P'$ とGHの散布図

以上の実験結果を総合して、本実験における試料布の大きな曲げ変形についてもエラスティカとみなして解析を進め得ること、また、Slitによる引抜抵抗値から曲げ剛さを求めようとする本方法については、(12)式の $GT = a \times P'$ において、予め布の厚さをある範囲内で変化させて厚さと $a$ の値との関係を求めておくと $P'$ の測定のみで曲げ剛さ $G$ を得ることができ、したがって、曲げ剛さ測定の簡便法としてはほぼ適用できることが推測される。

#### 4. む す び

布のSlitによる引抜抵抗値とその布の曲げ剛さとの関係をエラスティカの問題とみなして解析し、この解析方法の妥当性ならびに解析結果にもとづいて布の引抜抵抗の測定値からその曲げ剛さを求める方法について検討した。

その結果、布のSlitによる引抜抵抗値とその曲げ剛さとの関係についての解析は本実験の大曲率変形試料もエラスティカとして取り扱って解析を行ない得ること、また、本解析結果にもとづいて求められる曲げ剛さがハートループ法による曲げ剛さとかかなり近似しており、したがって、本実験のような引抜抵抗による方法も布の曲げ剛さ測定の簡便法としてはほぼ適用できることを確めた。

今後の課題として、さらに厳密なモデルと摩擦抵抗を考慮した解析方法について検討し、その解析結果と実験との比較検討から引抜抵抗による新しい曲げ剛さ測定の簡便法を明らかにしてみたい。

おわりにのぞみ、本解析のために御援助をいただいた信州大学繊維機械学科篠原昭先生、種々御指導いただいた帝人(株)繊維加工研究所山内清一氏に深甚な感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 小野木重治, 安藤昭三: 織学誌, **10**, 32 (1954)
- 2) 大脇秀次郎: 織機誌, **19**, T247 (1966)
- 3) R. Steele: Text. Res. J., **27**, 695 (1957)
- 4) 篠原昭, 山内清一: 織機誌, **20**, T156 (1967)
- 5) 角田幸雄, 高塚芳枝: 本誌, **6**, 27 (1968)
- 6) 山内清一: 第20回繊維機械学会年次大会において一部講演 (1967)

(昭和43年1月8日受理)